


**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**Львівський національний університет імені Івана Франка**  
**Фізичний факультет**  
**Кафедра фізики твердого тіла**

Затверджено на засіданні  
кафедри фізики твердого тіла  
фізичного факультету  
Львівського національного  
університету імені Івана Франка  
(протокол № 1 від 29 серпня 2024 р.)  
Завідувач кафедри   
Володимир КАПУСТЯНИК

**Силабус**  
**з навчальної дисципліни «Ядерна фізика»,**  
**що викладається в межах**  
**ОПП *Комп'ютерні технології у прикладній фізиці***  
**ОПП *Нанофізика та наноматеріали***  
**першого (бакалаврського) рівня вищої освіти**  
**для здобувачів зі спеціальності 105 «Прикладна фізика та наноматеріали»**

Львів 2024

<b>Назва дисципліни</b>	<b>Ядерна фізика</b>
<b>Адреса викладання курсу</b>	Вул. Драгоманова 50, 79005 Львів
<b>Факультет та кафедра, за якою закріплена дисципліна</b>	Фізичний факультет, кафедра фізики твердого тіла
<b>Галузь знань, шифр та назва спеціальності</b>	10 Природничі науки 105 «Прикладна фізика та наноматеріали»
<b>Викладачі курсу</b>	Завідувач кафедри фізики твердого тіла, професор, д.ф.-м.н Капустяник Володимир Богданович: практичні заняття проводить доц. Чорній Ю.В., лабораторні заняття – доц. Турко Б.І.
<b>Контактна інформація викладачів</b>	volodymyr.kapustianyk@lnu.edu.ua <a href="https://physics.lnu.edu.ua/employee/kapustyanyk-volodymyr-bohdanovych">https://physics.lnu.edu.ua/employee/kapustyanyk-volodymyr-bohdanovych</a>
<b>Консультації по курсу відбуваються</b>	Консультації в день проведення лекцій та практичних занять (за попередньою домовленістю). Також можливі он-лайн консультації через електронну пошту.
<b>Сторінка курсу</b>	<a href="https://physics.lnu.edu.ua/course/yaderna-fizyka-prykladna-fizyka">https://physics.lnu.edu.ua/course/yaderna-fizyka-prykladna-fizyka</a>
<b>Інформація про курс</b>	Дисципліна «Ядерна фізика» є нормативною дисципліною зі спеціальності 105 «Прикладна фізика та наноматеріали» для першого (бакалаврського) рівня вищої освіти, яка викладається у 6 семестрі в обсязі 5 кредитів (за Європейською Кредитно-Трансферною Системою ECTS).
<b>Коротка анотація курсу</b>	Курс ядерної фізики є одним з основних розділів загальної фізики. В курсі розглядаються основи фізики ядра, його склад і будова, основні ядерні моделі. Значне місце в курсі відведене аналізу експериментальних методів дослідження атомних ядер і ядерних частинок, а також фізиці високих енергій. Проаналізовані різні види ядерних реакцій, розглядається класифікація елементарних частинок і властивості кварків. Набуті в рамках курсу знання є необхідною основою для успішної професійної діяльності випускників фізичного факультету.
<b>Мета та цілі курсу</b>	<b>Мета курсу:</b> ознайомити студентів з основними закономірностями та поняттями фізики атомного ядра та фізики високих енергій, сформулювати поняття єдності мікро- і макросвіту, виробити навички фізичного мислення. <b>Основні цілі курсу:</b> а) розглянути розвиток уявлень про будову і властивості атомного ядра; б) розширити науковий світогляд студентів; в) виробити навички до самостійної роботи.
<b>Література для вивчення дисципліни</b>	<b>Базова:</b> 1. Ситенко О.Г., Тартаковський В.К. Теорія ядра: Навч. посібник.- Київ.: Либідь, 2000.- 608 с. 2. Ніцук Ю.А. Ядерна фізика: Навч. посібник.- Одеса.: Видавництво ОДУ, 2008.- 168 с. 3. Кучерук І.М., Горбачук І.Т. Загальний курс фізики. Т.3. Оптика. Квантова фізика. К.: Техніка, 1999.- 520 с. 4. Вальтер А.К., Залюбовський І.І. Ядерна фізика.- Харків: Видавництво Харківського ун-ту, 1991.- 480 с. 5. Булавін Л.А., Тартаковський В.К. Ядерна фізика.- Київ, 2005.- 480 с. 6. Каденко І.М., Плюйко В.А. Фізика атомного ядра та частинок : підручник. 2-ге вид., переробл. і доповн. Електронна версія. К. : 2019. 467 с.

	<p>7. Вакарчук І.О. Квантова механіка: Підручник.- Львів: ЛНУ ім. І. Франка, 2007.- 784 с.</p> <p>8. Капустяник В., Кулик Б., Партика М. Практикум з ядерної фізики для студентів фізичного факультету.- Львів: Видавн. центр фіз. ф-ту ЛНУ ім. І. Франка, 2012.- 88 с.</p> <p><b>Допоміжна:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Білинський І. Теорія ядра та процеси в ньому. Фізика атомного ядра : навчальний посібник. Дрогобич : Видавничий відділ ДДПУ ім. І. Франка, 2021. 75 с.</li> <li>2. П.П. Чолпан. Фізика. К.: Вища школа, 2003.-567 с.</li> </ol> <p><b>Інформаційні ресурси:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Eric Weisstein's World of Physics <a href="http://scienceworld.wolfram.com/physics/">http://scienceworld.wolfram.com/physics/</a></li> <li>2. Wikipedia. <a href="http://www.wikipedia.org">http://www.wikipedia.org</a></li> <li>3. <a href="http://www.lbl.gov/abc/Contents.html#experiment">http://www.lbl.gov/abc/Contents.html#experiment</a></li> </ol>
<b>Тривалість курсу</b>	один семестр
<b>Обсяг курсу</b>	150 годин, з яких 96 годин аудиторних занять, з них 32 годин лекцій, 32 годин лабораторних занять, 32 години практичних занять та 54 години самостійної роботи
<b>Очікувані результати навчання</b>	<p>В результаті вивчення цього курсу здобувач має оволодіти такими компетентностями:</p> <p><b>Загальні компетентності (ЗК):</b></p> <p><b>ЗК 1.</b> Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях.</p> <p><b>ЗК 2.</b> Знання та розуміння предметної області та розуміння професійної діяльності.</p> <p><b>ЗК 3.</b> Здатність спілкуватися державною мовою як усно, так і письмово.</p> <p><b>ЗК 7.</b> Здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел.</p> <p><b>ЗК 9</b> Здатність працювати автономно.</p> <p><b>ЗК 10.</b> Навички здійснення безпечної діяльності.</p> <p><b>Спеціальні (фахові) компетентності (СК):</b></p> <p><b>СК 2.</b> Здатність брати участь у плануванні і виконанні експериментів та лабораторних досліджень властивостей фізичних систем, фізичних явищ і процесів, обробленні й презентації їхніх результатів.</p> <p><b>СК 5.</b> Здатність до постійного розвитку компетентностей у сфері прикладної фізики, інженерії та комп'ютерних технологій.</p> <p><b>СК 9.</b> Здатність виконувати експериментальні та теоретичні дослідження автономно та у складі колективу виконавців.</p> <p>Після засвоєння навчальної дисципліни студенти мають продемонструвати такі <b>програмні результати навчання:</b></p> <p><b>ПРН 1.</b> Знати і розуміти сучасну фізику на рівні, достатньому для розв'язання складних спеціалізованих задач і практичних проблем прикладної фізики.</p> <p><b>ПРН 2.</b> Застосовувати сучасні математичні методи для побудови й аналізу математичних моделей фізичних процесів.</p> <p><b>ПРН 3.</b> Застосовувати ефективні технології, інструменти та методи експериментального дослідження властивостей речовин і матеріалів, включаючи наноматеріали, при розв'язанні практичних проблем прикладної фізики.</p> <p><b>ПРН 6.</b> Відшукувати необхідну науково-технічну інформацію в науковій літературі, електронних базах, інших джерелах, оцінювати надійність та релевантність інформації.</p>

	<b>ПРН 12.</b> Розуміти закономірності розвитку прикладної фізики, її місце в розвитку техніки, технологій і суспільства, у тому числі в розв'язанні екологічних проблем.
<b>Ключові слова</b>	Ядро атома, фізика високих енергій, прискорювачі заряджених частинок, ядерні моделі, нуклони, кварки, лептони, адрони, мезони, сильна ядерна взаємодія, слабка ядерна взаємодія.
<b>Формат курсу</b>	Очний: проведення лекцій, лабораторних робіт та консультації для кращого розуміння тем
<b>Теми</b>	Наведено у таблицях нижче
<b>Підсумковий контроль, форма</b>	Іспит у 6 семестрі
<b>Пререквізити</b>	Вивчення курсу «Ядерної фізики» ґрунтується на знаннях студентів, одержаних під час вивчення навчальних дисциплін: «Механіка», «Молекулярна фізика», «Електрика і магнетизм», «Оптика», «Атомна фізика», «Теоретична механіка», «Математичний аналіз» і «Диференціальні рівняння».
<b>Навчальні методи та техніки, які будуть використовуватися під час викладання курсу</b>	Використовуються такі методи навчання: а) словесні – лекція, пояснення, бесіда, інструктаж (вступний та поточний) під час виконання лабораторних робіт; б) наочні – ілюстрування лекційного матеріалу презентаціями, що включають в себе таблиці, схеми та графіки; в) лабораторні – виконання лабораторних робіт, г) практичні заняття – розв'язування задач, що передбачає організацію навчальної роботи для отримання нових знань.
<b>Необхідне обладнання</b>	Персональний комп'ютер, операційні системи (Windows, Linux), загальноживані комп'ютерні програми, проектор, радіометр-дозиметр гамма-бета-випромінювання РКС-01 "СТОРА-ТУ", дозиметр-радіометр МКС-05 «ТЕРРА», дозиметр-радіометр гамма-бета-випромінювання пошуковий МКС-07 "ПОШУК", спектрометр енергій гамма-випромінювання сцинтиляційний СЕГ-001 "АКП-С-63", лічильники Гейгера-Мюллера, набір ізотопів.
<b>Критерії оцінювання (окремо для кожного виду навчальної діяльності)</b>	<p>Контроль засвоєння матеріалу включає</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- поточний контроль (контрольні роботи за двома змістовими модулями, <math>2 \times 5 = 10</math> балів), оцінку відповідей та роботи на практичних (20 балів) і лабораторних (20 балів) заняттях — разом за семестр 50 балів</li> <li>- іспит, що складається з теоретичної частини (<math>20 \times 2 = 40</math> балів) і перевірки практичних знань (10 балів) — разом 50 балів.</li> </ul> <p>Бали нараховуються за таким співвідношенням:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• лабораторні заняття (виконання кожної з лабораторних робіт №1-9 оцінюється в 2 бали, а лабораторних робіт №10, 11 – 1 бал; максимальна оцінка за лабораторний практикум – 20 балів;</li> <li>• на практичних заняттях бали нараховуються за результатами контрольних робіт і індивідуальних відповідей студентів: максимальна кількість балів 20;</li> <li>• робота на лекціях (тестове опитування лекційного матеріалу в середині і в кінці семестру): максимальна кількість балів 10;</li> <li>• іспит: максимальна кількість балів 50.</li> </ul> <p>Сумарна оцінка — 100 балів.</p> <p>Додаткові 5 балів можна отримати, наприклад, завдяки проходженню онлайн курсу Introduction to Particle Accelerators (<a href="https://www.coursera.org/learn/introduction-particle-accelerators">https://www.coursera.org/learn/introduction-particle-accelerators</a>) або подібного курсу за тематикою дисципліни за умови, що загальне число набраних балів не перевищуватиме 100 балів.</p> <p><b>Академічна доброчесність</b> здобувачами вищої освіти передбачає самостійне виконання навчальних завдань, завдань поточного та</p>

	<p>підсумкового контролю результатів навчання. Списування, втручання в роботу інших студентів становлять, але не обмежують, приклади можливої академічної недоброчесності. Виявлення ознак академічної недоброчесності в письмовій чи усній роботі студента є підставою для її незарахування викладачем, незалежно від масштабів обману.</p> <p><b>Відвідання занять</b> є важливою складовою навчання. Очікується, що всі студенти відвідають усі лекції і практичні заняття курсу. Студенти мають інформувати викладача про неможливість відвідати заняття. У будь-якому випадку студенти зобов'язані дотримуватися усіх термінів, визначених для виконання усіх видів робіт, передбачених курсом.</p> <p><b>Література.</b> Усю література, яку студенти не зможуть знайти самостійно, буде надано викладачами виключно в освітніх цілях без права її передавання третім особам. Студенти заохочуються до використання також й іншої літератури та джерел, яких немає серед рекомендованих.</p> <p><b>Політика виставлення балів.</b> Враховуються бали, набрані на лабораторних і практичних заняттях та поточному тестуванні. При цьому обов'язково враховуються присутність на заняттях та активність студента під час заняття; недопустимість пропусків та запізнь на заняття; користування мобільним телефоном, планшетом чи іншими мобільними пристроями під час заняття в цілях, не пов'язаних із навчанням; списування та плагіат; несвоєчасне виконання поставленого завдання і т. ін.</p> <p><b>Жодні форми академічної недоброчесності не толеруються.</b></p>
<p><b>Питання до екзамену</b></p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Ядерна модель атома.</li> <li>2. Визначення розміру та заряду ядра.</li> <li>3. Протонно-нейтронний склад ядра.</li> <li>4. Енергія зв'язку ядер, ядерні сили.</li> <li>5. Формула Вайцеккера.</li> <li>6. Проходження електронів через поглинаючі середовища. Пружне розсіювання електронів ядрами.</li> <li>7. Іонізаційні втрати для швидких електронів.</li> <li>8. Втрати на випромінювання. Ефект Черенкова.</li> <li>9. Джерела нуклонів. Взаємодія нуклонів з речовиною.</li> <li>10. Спіни і магнітні моменти нуклонів.</li> <li>11. Структура нуклонів, досліди Хофштадтера.</li> <li>12. Дейтрон, потенціали взаємодії.</li> <li>13. Обмінні сили.</li> <li>14. Мезонна теорія ядерних сил. Потенціал Юкава.</li> <li>15. Місце ядерних сил серед взаємодії у природі.</li> <li>16. Гамма-випромінювання ядер.</li> <li>17. Внутрішня конверсія електронів.</li> <li>18. Ефект Месбауера.</li> <li>19. Магнітний момент ядра, метод Рабі.</li> <li>20. Спін і магнітний момент ядра.</li> <li>21. Ядерна ізомерія.</li> <li>22. Модель рідкої каплі.</li> <li>23. Альфа-частинкова модель.</li> <li>24. Модель Фермі-газу.</li> <li>25. Модель ядерних оболонок.</li> <li>26. Узагальнена модель ядра.</li> <li>27. Оптична модель ядра.</li> <li>28. Електростатичний прискорювач.</li> <li>29. Циклотрон.</li> </ol>

	<p>30. Бетатрон.  31. Фазотрон, синхротрон. Синхрофазотрон.  32. Джерела променів та коефіцієнт послаблення.  33. Фотоефект. Класичне розсіяння. Ефект Комптона.  34. Утворення електрон-позитронних пар.  35. Фотонно-електронні зливи.  36. Повний коефіцієнт послаблення.  37. Основні види і особливості радіоактивного розпаду.  38. Закон радіоактивного розпаду. Вікова радіоактивна рівновага.  39. Природні радіоактивні ядра. Радіоактивні ряди.  40. Штучні радіоактивні ядра.  41. Альфа-розпад. Тонка структура альфа-спектру. Теорія альфа-розпаду.  42. Бета-перетворення.  43. Досліди з виявлення нейтрино.  44. Втрата парності при бета-розпаді. Досліди Ву.  45. Методи реєстрації заряджених частинок і гамма-квантів.  46. Ендотермічні та екзотермічні реакції. Переріз ядерної реакції.  47. Ядерні реакції під дією нейтронів. Поділ важких ядер.  48. Ланцюгові ядерні реакції. Використання енергії поділу.  49. Практичне здійснення ланцюгового ядерного процесу. Ядерні реактори.  50. Надважкі ядра. Фотоядерні реакції.  51. Реакції термоядерного синтезу. Проблема керованої термоядерної реакції. Магнітна ізоляція плазми.  52. Термоядерні реакції у Всесвіті. Протонно-протонний і вуглецево-азотний цикл.  53. Критерій елементарності.  54. Основні характеристики елементарних частинок.  55. Закони збереження. Лептони, закон збереження лептонного заряду.  56. Баріони, закон збереження баріонного заряду.  57. Ізотопічний спіні. Ізотопічна інваріантність.  58. Дивні частинки.  59. Взаємодія елементарних частинок. Види взаємодії.  60. Резонансні частинки.  61. Модель кварків.  62. Дозиметричні одиниці.  63. Біологічна дія іонізаційного випромінювання.  64. Дозиметрія і захист від випромінювання.</p>
<b>Опитування</b>	Анкету-оцінку з метою оцінювання якості курсу буде надано по завершенню курсу.

Таблиця 1

## Схема курсу «Ядерна фізика»

Тиждень	Назва теми	Форма діяльності та обсяг годин	Література	Термін Виконання
1	Тема 1. Розвиток уявлень про атомне ядро	лекції – 2 год, самостійна робота – 1 год.	Б: 1-6 Д: 2	1 тиждень
2, 3	Тема 2. Електрони і нуклони	лекції – 3 год, самостійна робота – 1 год.	Б: 1-8 Д: 1	1,5 тижня
3, 4	Тема 3. Ядерні сили	лекції – 3 год, самостійна робота – 1 год.	Б: 1-6	1,5 тижня

5, 6	Тема 4. Квантування станів ядер	лекції – 4 год, самостійна робота – 1 год.	Б: 1-7	2 тижні
7, 8	Тема 5. Ядерні моделі	лекції – 4 год, самостійна робота – 1 год.	Б: 1-6	2 тижні
9, 10	Тема 6. Прискорювачі частинок	лекції – 3 год, самостійна робота – 1 год.	Б: 1-6	1,5 тижня
10, 11	Тема 7. Взаємодія гамма- і Х-променів з речовиною	лекції – 3 год, самостійна робота – 1 год.	Б: 1-6, 8	1 тиждень
12, 13	Тема 8. Радіоактивний розпад	лекції – 2 год, самостійна робота – 1 год.	Б: 1-6, 8 Д: 2	1 тиждень
13, 14	Тема 9. Ядерні реакції синтезу та поділу	лекції – 3 год, самостійна робота – 1 год.	Б: 1-6, Д: 1	1,5 тижня
15, 16	Тема 10. Фізика високих енергій	лекції – 3 год, самостійна робота – 1 год.	Б: 1-6 Д: 2	1,5 тижня
16	Тема 11. Дозиметрія. Біологічна дія іонізаційного випромінювання.	лекції – 2 год, самостійна робота – 1 год.	Б: 1-6, 8	1,5 тижня

Таблиця 2

## Теми практичних занять

Тиждень	Назва теми	Форма діяльності та обсяг годин	Термін виконання
1	Енергія зв'язку нуклонів в ядрах. Використання формули Вайцзеккера.	практичне заняття – 2 год, самостійна робота – 1 год.	1 тиждень
2	Аналіз взаємодії протонів з речовиною. Обчислення обмінних сил.	практичне заняття – 2 год, самостійна робота – 1 год.	1 тиждень
3	Енергетичний розрахунок ядерних моделей.	практичне заняття – 2 год, самостійна робота – 1 год.	1 тиждень
4	Технічні характеристики прискорювачів елементарних частинок.	практичне заняття – 2 год, самостійна робота – 1 год.	1 тиждень
5	Вивчення ефекту утворення електрон-позитронних пар.	практичне заняття – 2 год, самостійна робота – 1 год.	1 тиждень
6	Аналіз радіоактивного закону розпаду.	практичне заняття – 2 год, самостійна робота – 1 год.	1 тиждень
7	Вивчення вікової радіоактивної рівноваги.	практичне заняття – 2 год, самостійна робота – 1 год.	1 тиждень
8	Вивчення альфа- та бета-розпадів.	практичне заняття – 2 год, самостійна робота – 1 год.	1 тиждень
9	Дозиметричні одиниці.	практичне заняття – 2 год, самостійна робота – 1 год.	1 тиждень
10	Ендотермічні та екзотермічні реакції.	практичне заняття – 2 год, самостійна робота – 1 год.	1 тиждень
11	Вивчення ланцюгових ядерних реакцій.	практичне заняття – 2 год, самостійна робота – 1 год.	1 тиждень
12	Аналіз роботи ядерних реакторів.	практичне заняття – 2 год, самостійна робота – 1 год.	1 тиждень
13	Вивчення термоядерних реакцій у Всесвіті.	практичне заняття – 2 год,	1 тиждень

		самостійна робота – 1 год.	
14	Вивчення можливості створення керованих термоядерних реакцій.	практичне заняття – 2 год, самостійна робота – 1 год.	1 тиждень
15	Розрахунок реакцій з участю частинок і античастинок.	практичне заняття – 2 год, самостійна робота – 1 год.	1 тиждень
16	Вивчення законів збереження при ядерних реакціях.	практичне заняття – 2 год, самостійна робота – 1 год.	1 тиждень

Таблиця 3

## Теми лабораторних занять

Тиждень	Назва теми	Форма діяльності та обсяг годин	Термін виконання
1, 2	Вивчення роботи газорозрядного лічильника.	лаборатор. заняття – 3 год самостійна робота – 2 год.	1,5 тижня
2, 3	Вивчення статистичного характеру радіоактивного розпаду.	лаборатор. заняття – 3 год, самостійна робота – 1 год.	1,5 тижня
4, 5	Взаємодія гамма-випромінювання з речовиною.	лаборатор. заняття – 3 год, самостійна робота – 1 год.	1,5 тижня
6, 7	Визначення мертвого часу газорозрядного лічильника.	лаборатор. заняття – 3 год, самостійна робота – 1 год.	1,5 тижня
7, 8	Вивчення ефективності газорозрядного лічильника під час реєстрації гамма-квантів.	лаборатор. заняття – 3 год, самостійна робота – 1 год.	1,5 тижня
9, 10	Визначення активності гамма-джерела.	лаборатор. заняття – 3 год, самостійна робота – 1 год.	1,5 тижня
10, 11	Визначення активності бета-джерела абсолютним методом.	лаборатор. заняття – 3 год, самостійна робота – 1 год.	1,5 тижня
11, 12	Визначення верхньої межі бета-спектру.	лаборатор. заняття – 3 год самостійна робота – 1 год.	1,5 тижня
13	Вивчення роботи сцинтиляційного гамма-спектрометра.	лаборатор. заняття – 3 год самостійна робота – 1 год.	1,5 тижня
14, 15	Визначення потужності дози іонізаційного випромінювання.	лаборатор. заняття – 3 год самостійна робота – 1 год.	1,5 тижня
15, 16	Вивчення роботи дозиметрів.	лаборатор. заняття – 2 год самостійна робота – 1 год.	1 тиждень